沼泽环境下 20 钢输氢气管道失效分析

马丁，刘智勇[1]，杜翠薇[1]，湛小琳[2]

（1.北京科技大学腐蚀与防护中心教育部腐蚀与防护重点实验室，北京 100083;

2. 河北省特种设备监督检验院. 石家庄 050000

摘要：针对某 20 钢输氢管道在大庆地区沼泽环境服役过程中的管道外表面开裂问题，采用化学成分分析、体式显微镜、SEM 扫描电镜、EDS 能谱分析等方法对管道腐蚀进行了分析。结果表明：输氢管道外表面由于机械损伤产生的微裂纹协同服役环境存在的应力和腐蚀介质，使得损伤区域产生微裂纹并逐步扩展，导致管道发生腐蚀失效。因此，对于管道不仅要改进管道本身的防腐工艺，还要针对管道本身服役环境，采用相应的防腐措施。

关键词：管道；腐蚀；失效分析

Corrosion Failure Analyses of 20 Steel Hydrogen Transport Pipeline

MA Ding [1],LIU Zhiyong [1],DU Cuiwei [1], ZHAN Xiaolin[2]

1. University of Science & Technology Beijing.Beijing Center for Corrosion and Protection, Beijing 100083,China
2. Hebei special equipment supervision and Inspection Institute, Shijiazhuang 050000, China

Abstract: Chemical composition analysis, stereomicroscope,SEM and EDS were adopted to test the corrosion of the hydrogen transport pipeline that served in the swamp areas in Daqing.The mechanical damage on the outside surface ,the stress of the external environment and the corrosion products expand the corrosion cracking.That is the reason which caused the corrosion failure of the pipe.in order to avoid the corrosion failure, the Anti-corrosion technology of the hydrogen transport pipeline should be improved.The pipe also need some protective measures that is directed against the swamp environment.

Key words: Steel pipe; Corrosion; Failure analysis

1. 前言

油气运输过程中的管道安全问题尤为重要。由于油气管道服役的环境复杂，部分管道处于高腐蚀性环境中长期服役，常常导致管道失效而造成严重的管道安全问题和经济损失。同时，除了服役环境作用之外，管道本身的宏观结构、受力状况以及成分和组织结构等会对腐蚀产生协同作用，其能够大幅降低材料的腐蚀抗力，甚至导致管道本体在腐蚀性不是很严重的环境中发生严重的腐蚀失效[1-4]。

本文主要对大庆地区某沼泽地区输氢管道外表面出现的开裂失效问题进行了分析，探讨了其腐蚀开裂机理。管道本身材料为 20 钢，管径为 20cm，壁厚约 0.8cm、工作压力 4.0MPa。部分架空铺设于沼泽地带，失效管段位于沼泽水体中，其服役环境呈弱碱性，存在着较高浓度的 K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}和 F^-等多种离子[5]。同时由于沼泽地区本身地质无法对管道起到有效的支撑作用，失效管道采用的是架构方式，由此使得管道服役过程中存在一定程度上的结构应力[6]，其可能对管道的腐蚀失效产生协同作用。

本工作针对上述氢气输送管道的腐蚀失效问题，通过宏观及微观形貌观察、材料理化性质测试、腐蚀产物分析等方法，对腐蚀过程及机理进行了分析，并提出相关的应对措施。

2 实验方法

实验通过金相组织观察、力学拉伸实验、硬度实验及腐蚀形貌观察等方法分析管道失效原因。其实验方法如下。

金相实验分别从失效管道的直通管、三通管和弯管取样 2cm×2cm×2cm 的式样，所参照的测试标准为《GB/T13298 金属显微组织检验方法》。对所取得试样进行预磨、抛光后用 4%硝酸酒精进行浸蚀处理，在光学显微镜下观察金相组织。

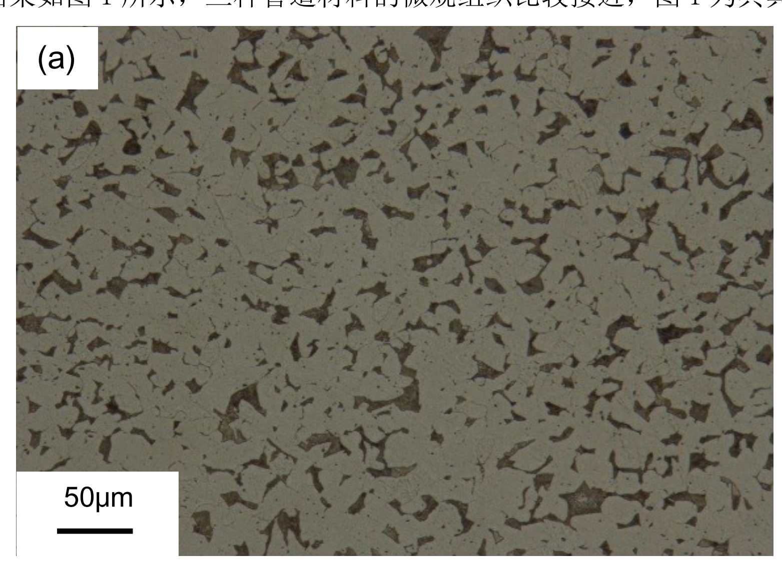
拉伸实验分别在直通管道、三通管道不同区域取 6 个部分，制成全壁厚拉伸试样，进行拉伸性能测试，拉伸所用的测试标准为《GB/T 228 金属材料拉伸试验》。

硬度检测分别在三通管道和弯管 6 个不同区域取样，直通管道在 3 个不同区域取样。试样尺寸 3cm×3cm×2cm，进行预磨、抛光。每块试样分别取 5 点进行布氏硬度检测，保证检测数据的可靠性。硬度试验所采用的标准为《GB/T 231 金属材料布氏硬度试验》。

腐蚀形貌观察首先对失效管道用 60 目、180 目砂纸进行打磨，除去表面的污渍和油漆。之后进行磁粉喷涂，待磁粉干燥后进行观察。切割裂纹存在区域，在扫描电镜下观察微观形貌。

3 实验结果

金相实验结果如图 1 所示，三种管道材料的微观组织比较接近，图 1 为其典型形貌。



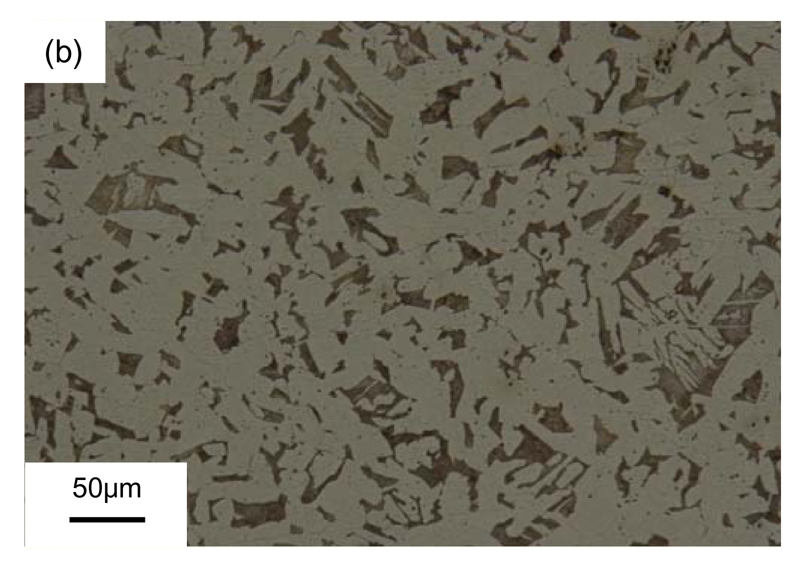


图 1 试样材料金相 (a) 母材 (b)焊缝区

Fig.1 Metallographic microstructures of base metal(a) and weld zone(b)

可见，管道母材部分主要是由铁素体和珠光体构成，珠光体与铁素体分布均匀，没有明显偏析及夹杂等。焊缝区组织中不仅有铁素体和珠光体，同时有少量板条状马氏体，板条状马氏体会使得焊缝韧性有所降低，利于裂纹的萌生和发展。通过金相分析发现，失效管道的基材金相组织及其焊接后金相组织未见严重劣化的魏氏组织，符合 20 钢标准组织和焊接工艺后组织。

对 20 钢管材进行化学分析，并与《GB/T 8163 输送流体用无缝钢管》进行对比，其结果对比如表 1 所示。可见管道材料化学成分在标准范围内。

表 1 管道基材化学成分（质量分数）

Table.1 Chemical composition of failed 20 steel hydrogen transport pipeline(mass%)

	C	Si	Mn	P	S
National standard	0.17~0.24	0.17~0.37	0.17~0.37	≤0.035	≤0.035
Base material	0.21	0.31	0.47	0.023	0.02

拉伸实验 1-12 号式样的抗拉强度分别为:442.13MPa、457.87MPa、454.64MPa、451.74MPa、453.67MPa、456.18MPa、482.84MPa、487.51MPa、471.25MPa、493.67MPa、473.38MPa、472.63MPa。国家标准 20 钢的抗拉强度应大于 410MPa，可见管道抗拉性能符合国家标准。拉伸试样断裂后的形貌如图 2 所示。

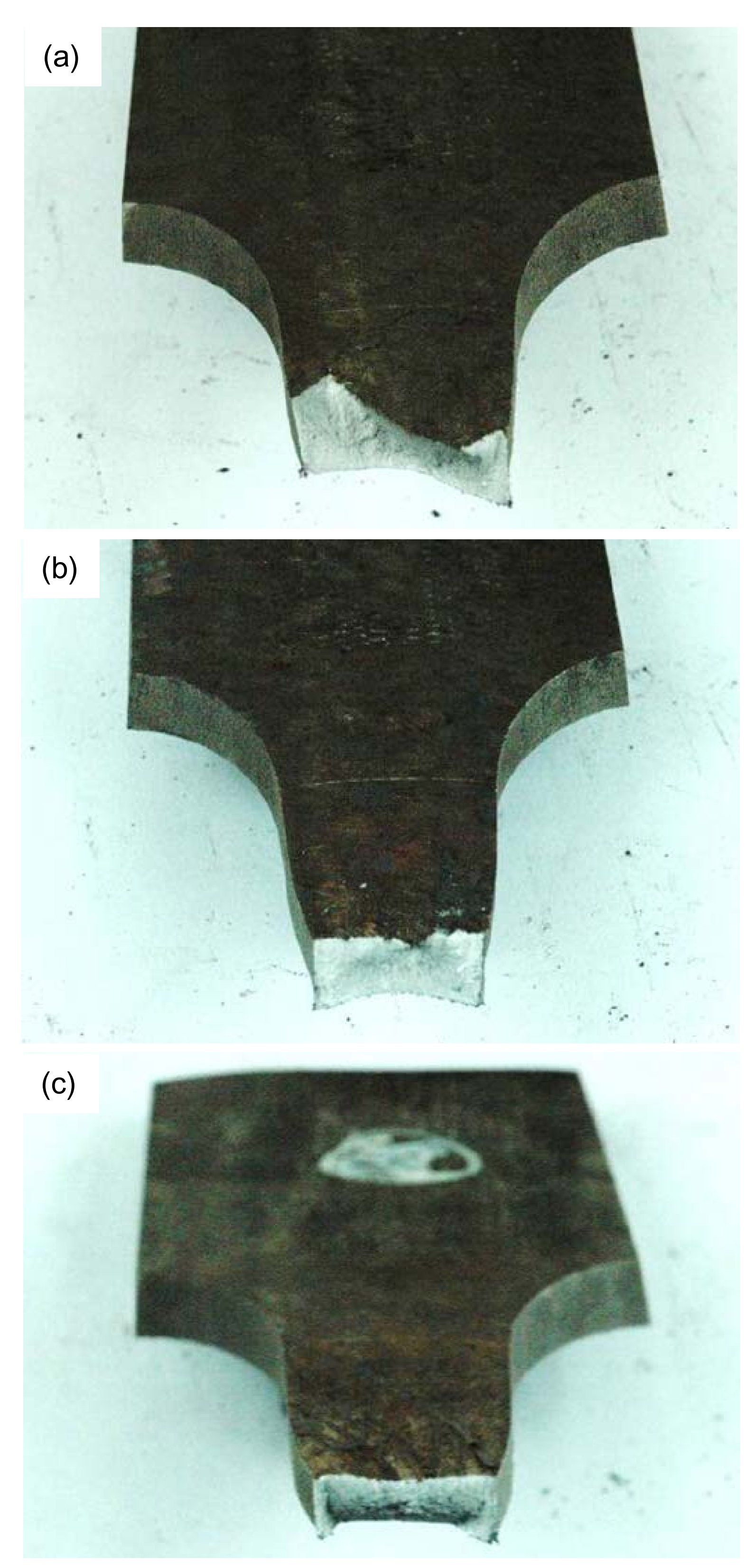


图 2 拉伸实验后部分试样断口形貌

Fig.2 Fracture apperance of the sample:(a)sampleA;(b)sampleB;(c)sampleC

由图 2 可见，对三个试样断口进行对比，形貌差异不明显，A、B、C 试样断口均能看出明显的颈缩，中间的纤维区面积较大，呈现韧性断裂特征。

硬度测试结果如表 3 所示。通过硬度测试发现，样品 20 钢布氏硬度测试结果均小于 156，符合国家规定，说明管道材料本身强度符合标准。

通过对管道材料整体分析可以看出，管道材料主要性能指标符合国家标准，虽然焊缝区有板条状马氏体的产生但属于焊接正常现象。通过力学性能测试的结果可以看出，管道材料本身有着很好拉伸性能，管道的失效不是材料性能不达标造成的。

表 3 三种管道的硬度数据测试

Table.3 Hardness measurement data of the failed pipe

	The date of Brinell hardness /187.5kgf.2.5mm				
Elbow 1#	144.3	135.34	138.31	132.1	138.24
Elbow 2#	137.43	141.15	140.02	138.46	142.14
Elbow 3#	142.06	142.98	145.24	146.51	145.48
Elbow 4#	151.24	156.27	152.41	151.24	141.91
Elbow 5#	151.16	151.74	153.17	153.43	152.84
Elbow 6#	158.65	150.91	150.49	150.16	152.75
Straight pipe 1#	137.29	134.41	130.25	134.55	133.64
Straight pipe 2#	139.8	136.78	137.29	137.85	140.09
Straight pipe 3#	137.65	141.53	142.22	140.24	139.42
Pipe tee 1#	150.91	151.32	150.16	150.33	152.58
Pipe tee 2#	150.82	150.66	151.91	150.08	149.59
Pipe tee 3#	149.1	150.24	150	150.58	151.24
Pipe tee 4#	137.87	138.16	138.61	142.91	137.58
Pipe tee 5#	142.75	135.19	142.37	135.84	146.27
GB699-88	≤156	≤156	≤156	≤156	≤156

三种管道在磁粉喷涂后宏观形貌如图 3 所示。在磁粉喷涂前，管道表面无法观察到明显的裂纹；为进一步检查是否有宏观裂纹，选择进行磁粉喷涂，之后管道表面可以观察到明显的裂纹。

